第 37 卷第 11 期
2017 年 6 月

生　态　学　报
ACTA ECOLOGICA SINICA

Vol.37,No.11
Jun.,2017

DOI: 10.5846/stxb201603170478

文博,朱高立,夏敏,张开亮,刘友兆,王玮.基于景观安全格局理论的宜兴市生态用地分类保护.生态学报,2017,37(11):3881-3891.

Wen B, Zhu G L, Xia M, Zhang K L, Liu Y Z,Wang W.Ecological land classification protection based on the landscape security pattern in Yixing City. Acta Ecologica Sinica,2017,37(11):3881-3891.

基于景观安全格局理论的宜兴市生态用地分类保护

文　博[1],朱高立[1],夏　敏[1,*],张开亮[1],刘友兆[1],王　玮[2]

1 南京农业大学公共管理学院, 南京　210095

2 南京林业大学家具与工业设计学院, 南京　210000

摘要:生态用地是区域生态服务功能的主要供给者,对控制区域生态环境起到关键作用,开展生态用地分类与保护,对实现经济与生态协调发展、保障区域生态安全具有重要意义。以江苏省宜兴市为例,基于前人对于生态用地分类与土地利用现状分类衔接研究成果,提取土地利用现状中的生态用地,借助景观安全格局理论方法,通过系统分析水土保持、生物多样性保护、乡土文化遗产保护以及自然景观保护 4 个与生态用地相关的重要生态过程,运用最小累积阻力模型构建区域综合景观安全格局,并将综合景观安全格局与现状生态用地进行叠加,得到低安全水平、较低安全水平、中等安全水平以及高安全水平 4 种类型的生态用地,各类型面积分别占研究区生态用地总面积的 32.07%、44.38%、22.07%以及 1.48%,针对不同等级的不同生态用地类型,提出了划定禁止建设区、防止水体污染、建设高标准基本农田等针对性的保护措施与对策。研究结果为宜兴市的土地利用规划与管理、城市可持续发展等提供决策依据,为其他类似地区生态用地保护规划编制提供参考。

关键词:生态用地;景观安全格局;土地利用分类;生态安全;宜兴市

Ecological land classification protection based on the landscape security pattern in Yixing City

WEN Bo[1], ZHU Gaoli[1], XIA Min[1,*], ZHANG Kailiang[1], LIU Youzhao[1], WANG Wei[2]

1 *College of Public Administration, Nanjing Agricultural University, Nanjing* 210095, *China*

2 *College of Furniture and Industrial Design, Nanjing Forestry University, Nanjing* 210000, *China*

Abstract: Ecological land is a major supplier of ecosystem services, and plays a key role in controlling regional eco-environmental quality. Protection of ecological land significantly promotes the sustainable development of society, the economy, ecology, and regional ecological security. The present research used Yixing city as a case study area, which is located in the southern part of Jiangsu Province. Firstly, following previous research into the relationships between ecological land use classification and current land use classification, the vector data for ecological land were acquired from the current land use vector data for Yixing. Secondly, the landscape security pattern theory and the model of minimum cumulative resistance were used to construct a comprehensive landscape security pattern after systematic analysis of the soil and water conservation, biodiversity protection, vernacular culture protection, and natural landscape protection processes related to ecological land. The overall landscape was then classified into four grades. Finally, the comprehensive landscape security pattern and the current ecological land maps were overlaid. The current ecological land areas were classified into lower, low, middle, and high security pattern levels, and these areas covered 50528.29 hm^2, 69942.53 hm^2, 34777.44 hm^2 and

基金项目:教育部人文社会科学研究一般项目(16YJAZH064);中国科学院流域地理学重点实验室开放基金项目(WSGS2015008);国家自然科学基金(51608271);教育部人文社会科学青年基金项目(14YJC760061);中央高校基本科研业务费人文社科基金(SK2016024);江西省软科学研究计划重大项目(20161ACA10001)

收稿日期:2016-03-17;　　**网络出版日期:**2017-02-22

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: xm@ njau.edu.cn

2335.07 hm^2, respectively, which accounted for 32.07%, 44.38%, 22.07%, and 1.48% of the total ecological land area, respectively. In the lower security pattern level ecological land, forest land and cultivated land, located in the southern hilly area, were the priority use types. In the low security pattern level ecological land, cultivated land, and water surrounding the city were the priority use types. In the middle security pattern level ecological land, water and cultivated land that was away from the city were the priority use types, and in the high security pattern level ecological land, water that was located far from the west bank of Taihu Lake was the only land use type. This study makes recommendations for improving ecological land based on the condition of the different land use types found in the ecological land areas. Identifying the landscape security pattern levels for ecological land and giving priority to protecting ecological land are the main approaches used to expand ecological land in urban construction areas in regions that are undergoing accelerated urbanization. This study provides scientific guidance that will aid urban sustainable development decision making, and land use planning and management in Yixing. It also provides scientific methods for ecological land planning that could be used in other areas with similar land conditions.

Key Words: ecological land; landscape security pattern; land use classification; ecological security; Yixing City

生态用地作为人类赖以生存的自然环境的载体,承担维护生态平衡、改善生态环境的使命,对直接或间接发挥生态环境调节、提供生物支持等生态服务具有关键的、不可替代的作用[1-2]。急剧的人口城镇化和土地城镇化使得大量林地、水域、耕地等具有生态服务功能的土地流失,不仅改变了区域生态系统结构,而且对生物多样性与生态服务功能有效供给造成不利影响[3-5]。科学、有效地针对不同类型生态用地进行分类保护,对解决城市发展与生态保护矛盾、提高区域生态系统服务功能、维护和改善区域生态平衡与生态安全,实现经济、社会、生态可持续发展具有重要的意义[6-7]。

随着环境问题的日益凸显,生态用地研究逐渐成为学术界的研究热点,众多学者基于不同的专业背景和研究视角,对生态用地的内涵与分类开展了广泛的研究[8-10],周锐、谢花林等[11-14]对生态用地的识别、格局构建、动态演变及其影响因素进行了分析;俞孔坚、欧阳志云等[15-18]分别采用景观安全格局理论方法、生态系统服务功能重要性空间格局评价方法对不同区域的生态用地规划与管理、布局优化等问题进行了研究;此外,刘昕、彭建等[6,19-21]分别对生态用地保护的重要性、生态用地需求测算、生态用地功能等内容进行了研究。在前人研究的基础上,借鉴龙花楼、喻锋等[9-10]对于生态用地分类与土地利用现状分类衔接研究成果,选取适当的方法对区域生态用地保护进行分析,是从土地管理视角开展生态用地保护研究的重要途径。近年兴起的景观安全格局理论认为:不论景观是均质的还是异质的,景观中的各点对某种生态的重要性都不是一样的,其中有一些局部、点和空间关系对控制景观水平生态过程起着关键性作用,这些景观局部、点及空间联系构成景观安全格局,它们是现有的或是潜在的生态基础设施(ecological infrastructure,EI)[22]。目前该理论已应用于建设用地扩展模拟与分区管制[23-25]、农村土地整治[26]等方面,其研究成果可供借鉴,但研究多注重生态相关因子的景观安全格局构建,关于构建传统文化保护等方面的人文景观安全格局研究较少[18]。本文借助该理论,以影响生态用地保护的土壤侵蚀、动物栖息以及乡土文化体验等生态过程为切入点,通过分析区域中对控制景观水平生态过程起着关键性作用的局部、点和空间关系,开展生态用地的分类保护研究。

本文以地处苏南经济高度发达地区的宜兴市为研究区,该研究区具有经济繁荣、生态环境优越等特征,如何在建设用地快速扩张的过程中保护生态用地的数量和质量,使其充分发挥生态服务功能,实现经济与生态协调发展已成为宜兴市必须要解决的现实问题。基于此,从土地管理视角对研究区土地利用现状中的生态用地进行分析,以影响生态用地保护的生态过程为研究切入点,借助景观安全格局理论方法判别生态用地所处安全水平,并进一步探索差别化的生态用地保护策略,以期为宜兴市或同类地区的生态用地保护、经济社会与生态环境协调发展目标的实现提供科学有效的决策支持。

1　研究区概况与研究方法

1.1　研究区概况

宜兴市地处江苏省西南端,沪宁杭三角中心,位于 119°31′—120°03′E,31°07′—31°37′N 之间,东面太湖水面与苏州太湖水面相连,东南临浙江长兴,西南接安徽广德,西接溧阳,西北毗连金坛,北与武进相傍,市域总面积 1996.6 km^2(其中太湖水域面积 242.29 km^2)。地势南高北低,西南部为低山丘陵,北部和西部分别为平原区和低洼圩区,属于亚热带季风气候,全年温暖湿润,降雨量充沛,年平均气温 16.1℃,年均降水量 1177 mm,从而形成了森林、草地、灌丛、湿地、农田与城镇等多种生态系统类型。自 1988 年撤县建市以来,城镇化建设与经济发展迅速,2013 年全市常住人口 125 万人,地区生产总值 1190.23 亿元,城市化率 63.75%。近年来,经济发展水平连续名列全国百强县、县域综合竞争力排行榜前列,是中国综合实力最强的县级市之一。同时,宜兴市还是中国优秀旅游城市、国家园林城市、国家历史文化名城,具有经济水平发达、基础设施建设优越、自然环境优美、历史名胜繁盛的特点。2013 年,宜兴市共有耕地、林地、园地、水域等生态用地 157583.33 hm^2,占宜兴市总面积的 78.92%。通过分析区域中对控制景观水平生态过程起着关键性作用的局部、点和空间关系,对宜兴市的生态用地保护进行研究,对引导宜兴市未来城镇发展,协调建设用地布局与生态保护具有重要意义。

1.2　数据来源与处理

本研究所采用的数据主要包括 2013 年宜兴市土地利用现状图,中国科学院计算机网络信息中心的地理空间数据云平台共享的 Landsat-7 卫星 ETM+遥感影像(2013)、DEM 数据(30 m 分辨率);宜兴市土壤图;以 16 个气象站点监测年平均降雨量通过插值计算得到的降雨量空间分布图;基于 Google Earth(GE)提取宜兴市自然风景区与文物保护单位分布图等数据。利用土地利用现状图,提取交通用地矢量数据;根据生态用地分类成果[9-10],从土地利用现状矢量数据中提取耕地、林地、园地、水域及水利设施用地、草地、其他土地作为生态用地,将其分为耕地、林地、园地、水域、草地及其他生态用地;利用 ETM+遥感影像计算获取植被覆盖度图;DEM 数据用于坡度、坡向等数据的提取。

1.3　研究方法

针对宜兴市经济水平发达、城镇化发展迅速、自然环境优美、历史名胜繁盛的特征,以协调建设用地布局与生态保护矛盾为目标,借助景观安全格局理论方法作为判别和建立生态基础设施有效途径,进而对生态用地的保护和管理进行分析。生态用地的保护和管理是一个高层次的、综合的决策行为,不仅要考虑生态用地本身,还需要考虑土壤侵蚀、动物栖息以及人类活动等与生态用地相关的生态过程,这些过程将直接或者间接地影响生态用地的结构与功能。因此,在系统分析水土保持、生物多样性保护、乡土文化遗产保护以及自然景观保护 4 个与生态用地相关的重要生态过程的基础上,建立各生态过程中景观要素扩展阻力面,根据景观要素克服空间阻力的扩展趋势确定不同层次的景观安全格局,在综合分析基于各种生态需求的景观安全格局的基础上,根据土地利用现状中各类生态用地在综合景观安全格局中所处安全水平,提出差别化的生态用地保护措施。

1.3.1　“源”的确定

“源”是事物向四周扩散或者吸引四周事物向其集聚的基点,是生态过程发生的起点。从影响生态用地保护的土壤侵蚀、动物栖息以及人类活动等生态过程入手,通过识别宜兴市水土保持、生物多样性保护、乡土文化遗产保护、自然景观保护的关键景观要素,将这些关键景观要素作为影响各生态过程的“源”,水土保持、生物多样性保护、乡土文化遗产保护、自然景观保护“源”的内容如表 1 所示。

1.3.2　建立阻力面

生态过程中,“源”对四周事物的影响可以被看作是对空间的竞争性控制和覆盖过程。这种竞争性控制和覆盖必须通过克服不同阻力因子所形成的综合阻力来实现,不同阻力因子所形成的综合阻力即阻力面,反映了“源”对周围事物影响的竞争性控制和覆盖趋势。本文采用最小累积阻力模型(Minimum cumulative

表 1 景观安全格局源的确定

Table 1 Definition of landscape security pattern sources

源类别 The categories of sources	内容 Contents
水土保持源 The sources of water-soil conservation	从土壤侵蚀产生的生态过程出发,依据土壤流失方程(USLE 模型),计算宜兴市水土流失敏感性(计算过程见参考文献[27]);利用 ArcGIS 10.3 的空间分析工具,运用自然断裂法将宜兴市划分为高度敏感、较高敏感、中度敏感、轻度敏感和不敏感 5 级水土流失敏感区,以宜兴市水土流失敏感性分析结果中的高度敏感区域作为水土保持源
生物多样性保护源 The sources of biodiversity conservation	首先,提取宜兴市土地利用现状数据中斑块面积大于 $10hm^2$ 的林地、湖泊水面以及水库水面等矢量数据;其次,采用 ArcGIS 10.3 的空间分析工具,从植被覆盖图中提取出植被覆盖大于 0.5 的区域;通过网络信息检索,从上述两个方面的数据中筛选出宜兴市动植物生存、栖息的主要区域开展实地调研,最终选取位于南部丘陵山区的铜官山、桃花山、龙池山、鸡笼山、蜀山、青龙山以及龙背山国家森林公园等地一定数量的林地斑块,与太湖、滆湖、横山水库以及氿滨公园等地一定数量的水域斑块作为生物多样性保护源
乡土文化遗产保护源 The sources of vernacular culture protection	宜兴市悠久的历史和丰富多彩的文化,使得星罗棋布的古街区、古建筑、古桥梁、古石刻、古碑刻等文化古迹得以保存至今;选取周王庙、蜀山窑群、西溪遗址、宜兴窑址、骆驼墩遗址、国山碑、周培源故居、徐义庄祠、瀛园、徐大宗祠、东坡书院、宜兴太平天国王府、青龙桥、武昌桥、谢桥、施塘桥、江家桥、裕兰桥等国家级、省级以及市级的文物保护单位作为乡土文化遗产保护源
自然景观保护源 The sources of natural landscape protection	宜兴市作为中国优秀旅游城市、国家园林城市,注重保护自然风貌,利用山与水的巧妙组合构建出一系列风光秀丽的自然景观;选取善卷洞风景区、竹海风景区、龙背山森林公园、团氿风景区、陶祖圣境风景区、张公洞风景区、云湖风景区、横山水库、蜀山风景区、牛犊山公园、宜园、湿地公园、洑溪河公园等风景区的核心区域作为自然景观保护的源

resistance,MCR)从源、距离和阻力要素 3 个方面来建立阻力面,基本公式如下:

$$MCR = f\min \sum_{j=n}^{i=m} (D_{ij} \times R_i)$$

这一公式根据 Knaapen 等人[28]的模型和地理信息系统中常用的费用距离(Cost-distance)修改而来[29]。其中 f 是一个未知的正函数,D_{ij} 是从 j 点到达点 i 所穿越的空间距离;R_i 是在景观 i 表面运动的阻力系数。尽管函数 f 通常是未知的,但($D_{ij} \times R_i$)的累积值通常被认为是源到空间某一点需要克服的阻力总和,其中从所有源到该点阻力的最小累积值通常用来衡量该点的易达性,本研究中各阻力面即为与生态用地保护相关的各生态过程中,在不同距离和阻力要素的综合作用下所形成的源的影响趋势面,该模型可以通过 ArcGIS 10.3 中的 Cost-Weighted 工具实现。各生态过程的阻力要素构成内容如表 2 所示。

表 2 生态过程阻力要素集合及其内容

Table 2 Contents of resistance elements in ecological processes

阻力要素组合 The categories of resistance elements	内容 Contents
水土保持阻力要素 The resistance elements of water-soil conservation	水土流失的发生与坡度、高程、地表植被覆盖、土地覆被类型以及距离水域的距离等因素密切相关,坡度大、高程高、地表植被覆盖低以及与水域的距离近的区域容易发生水土流失,反之则较难发生水土流失;而不同的土地覆被类型在土壤形成、水源涵养以及地表水循环方面有着重要的生态功能;因此,选取表征地形的地形位指数(计算过程见参考文献[30])、植被覆盖度以及与水域的距离作为水土保持阻力要素,对各因子进行分级,根据谢高地等人[31]制定的生态系统服务价值当量中土壤形成、水源涵养价值对土地覆被类型进行分类,并对分级和分类结果赋予相应的相对阻力系数,建立水土保持阻力面
生物多样性保护阻力要素 The resistance elements of biodiversity conservation	宜兴市生物多样性丰富,境内分布有野鸭、黄雀等上百种野生鸟类,狼、野猪等多种野生哺乳动物;因此,首先从植被覆盖类型、距城镇和农村居民点距离、地形 3 个方面开展物种生境适宜性评价,对评价结果进行生境适宜性的分级;其次,根据生态系统服务价值当量中的生物多样性保护价值对土地覆被类型进行分类,并对分级和分类结果赋予相应的相对阻力系数,建立生物多样性保护阻力面
乡土文化遗产保护阻力要素 The resistance elements of vernacular culture protection	宜兴市乡土文化遗产荟萃,乡土文化遗产通常是人们选择游览人文景观的目的地,目的地的游览频率越高对周边生态用地的人为干扰越大;从乡土文化景观体验的视角选择乡土文化遗产保护阻力要素,以各文化遗产的文物保护等级、与道路的距离、与距城镇和农村居民点距离三个方面开展乡土化体验适宜性评价,对评价结果进行乡土文化景观体验适宜性的分级;其次,根据生态系统服务价值当量中的娱乐价值对土地覆被类型进行分类,并对分级和分类结果赋予相应的相对阻力系数,建立乡土文化遗产保护阻力面

续表

阻力要素组合 The categories of resistance elements	内容 Contents
自然景观保护阻力要素 The resistance elements of natural landscape protection	自然风景优美的森林、河流、湖泊通常作为人们游览自然景观的目的地,目的地的易达性越高,自然景观受人类的影响就越大,自然景观保护阻力也越大,反之则保护阻力小;因此,选取地形、植被覆盖度、与道路的距离以及土地覆被类型作为自然景观保护阻力要素,构建自然景观保护阻力面

1.3.3　景观安全格局的建立与生态用地保护

区域综合景观安全格局反映的是在人与自然的综合作用下,土壤侵蚀、动物栖息以及人类活动影响的综合潜在影响范围或者趋势面。包括森林、河流、湖泊、农田在内的现状生态用地作为区域范围内的重要组成部分,人与自然的综合作用将直接或间接的影响其结构和功能。

根据与生态用地保护相关的各生态过程所确定的"源"和阻力面,基于最小累积阻力值与面积关系曲线,以最小累积阻力的突变阈值作为分级边界[3,18,29],采用 ArcGIS 10.3 的重分类工具确定各生态过程不同水平的景观安全格局(等级划分标准如表 3 所示)。本文认为水土保持、生物多样性保护、乡土文化遗产保护、自然景观保护具有同等重要性,将 4 种景观安全格局进行等权叠加分析,在 ArcGIS 10.3 中采用栅格计算器进行计算,采用自然断点法将结果分为 4 级,得到区域综合景观安全格局。

表 3　景观安全格局等级划分标准

Table 3　Classification criterion of different landscape security patterns in research area

类型 Kinds of security pattern	最小累积阻力区间 MCR value range			
	高安全 High	中等安全 Middle	较低安全 Low	低安全 Lower
水土保持安全格局 Water-soil conservation security pattern	≥56825.27	15906.30—56825.27	4831.43—15906.30	<4831.43
生物多样性保护安全格局 Biodiversity conservation security pattern	≥43049.29	28381.53—43049.29	2085.28—28381.53	<2085.28
乡土文化遗产保护安全格局 Vernacular culture protection security pattern	≥28591.16	15083.78—28591.16	4335.98—15083.78	<4335.98
自然景观保护安全格局 Natural landscape protection security pattern	≥77693.33	34016.84—77693.33	9805.63—34016.84	<9805.63

MCR:最小累积阻力 minimal cumulative resistance

通过分析现状生态用地在区域综合景观安全格局中所处安全水平,针对不同类型的生态用地提出相应的保护对策,对维护区域生态功能的可持续发展有着重要的作用,具体研究框架见图 1。

此外,"源"间廊道作为景观生态安全格局重要组成部分,是相邻两"源"之间的低累积阻力生态通道,它们是生态流之间的高效通道和联系途径,在生态用地保护中,廊道的分布能够增加各生态用地斑块间功能和空间上的连接度、提高生态系统的稳定性和整体性,有利于物质能量的流动和物种跨景观范围的扩散以满足其生存与发展[5,18]。

2　结果与分析

2.1　景观安全格局分析

基于上述景观安全格局理论与方法,确定研究区的水土保持、生物多样性保护、乡土文化遗产保护以及自然景观保护单一景观安全格局和综合景观安全格局,空间分布和统计结果见表 4 和图 2。

水土保持安全格局计算结果表明,由低到高 4 个等级的水土保持安全水平面积分别占宜兴市总面积的 10.18%、25.55%、46.50%以及 17.77%(图 2,表 4)。水土保持低安全水平区域主要位于张渚镇西北部靠近大贤岭林场区域、新街街道中部、太华镇中部以及丁蜀镇的西部,这些区域大多为丘陵山区边缘地带,是山区森林自然生态系统与平原城市人工生态系统中间的过渡区域,具有一定坡度,而且长期以来受人类活动影响,土

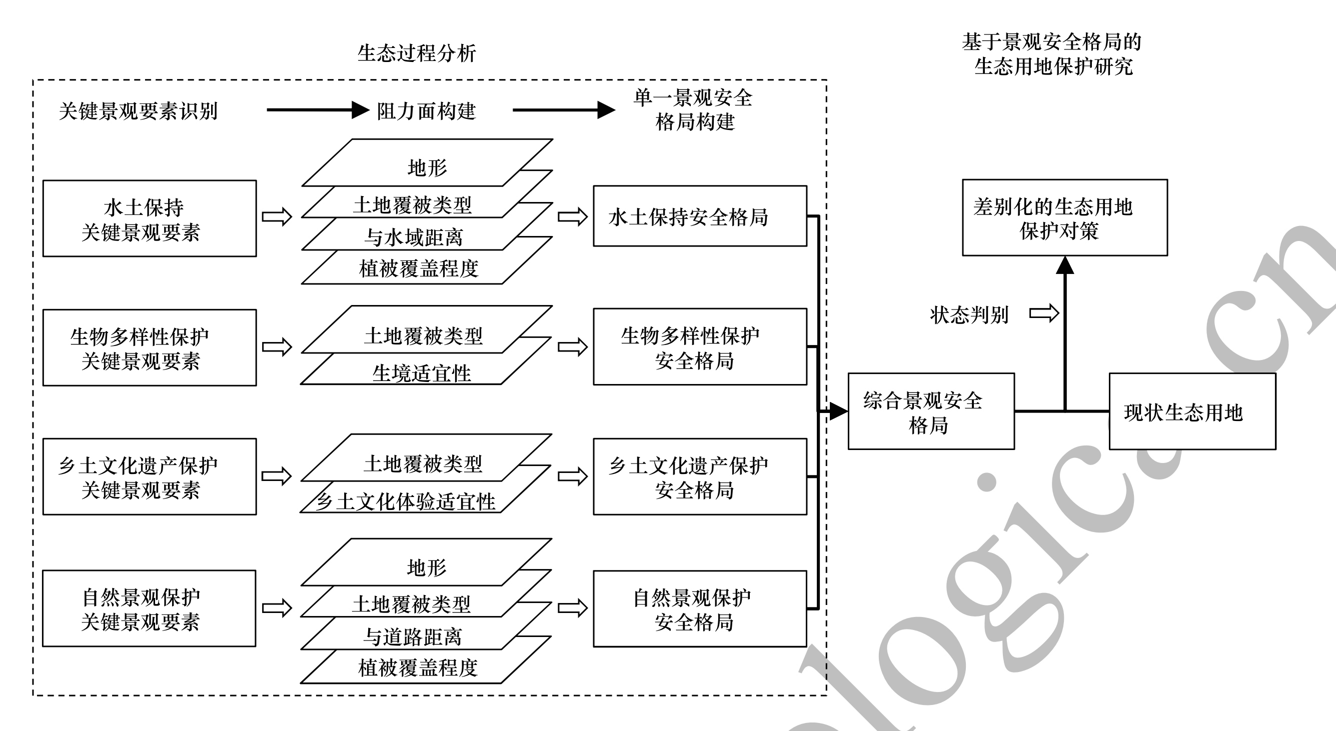


图 1　基于景观安全格局的生态用地保护研究框架

Fig.1　Framework for protection of ecological land based on landscape security pattern

表 4　景观安全格局分析结果

Table 4　Results of landscape security pattern

类型 Kinds of security pattern	景观安全水平 Classification	面积/hm^2 Area	%
水土保持安全格局 Water-soil conservation security pattern	低安全	20335.68	10.18
	较低安全	51008.17	25.55
	中等安全	92846.90	46.50
	高安全	35473.06	17.77
生物多样性保护安全格局 Biodiversity conservation security pattern	低安全	41369.98	20.72
	较低安全	91809.48	45.98
	中等安全	39896.18	19.98
	高安全	26588.17	13.32
乡土文化遗产保护安全格局 Vernacular culture protection security pattern	低安全	53870.61	26.98
	较低安全	104392.31	52.28
	中等安全	35712.88	17.89
	高安全	5688.01	2.85
自然景观保护安全格局 Natural landscape protection security pattern	低安全	46007.05	23.04
	较低安全	64223.61	32.17
	中等安全	72178.21	36.15
	高安全	17254.94	8.64
综合景观安全格局 Comprehensive security pattern	低安全	67361.19	33.74
	较低安全	90335.09	45.24
	中等安全	39627.08	19.85
	高安全	2340.46	1.17

地覆被类型为抗侵蚀能力较弱的耕地、农村建设用地、草地等地类,植被覆盖度较低,水土流失相对易发。由水土保持低安全水平区域为中心向外依此为较低安全水平、中等安全水平、高安全水平区域。随水土保持安

全等级的提高,抵抗水土流失的能力逐渐增强。对现状生态用地进行科学管理与保护,改善地表径流、提高植被覆盖程度、增加生态基础设施,依据"源"间低累积阻力谷线合理规划设置生态廊道,有利于强化区域的水土保持能力,提升整体水土保持安全水平。

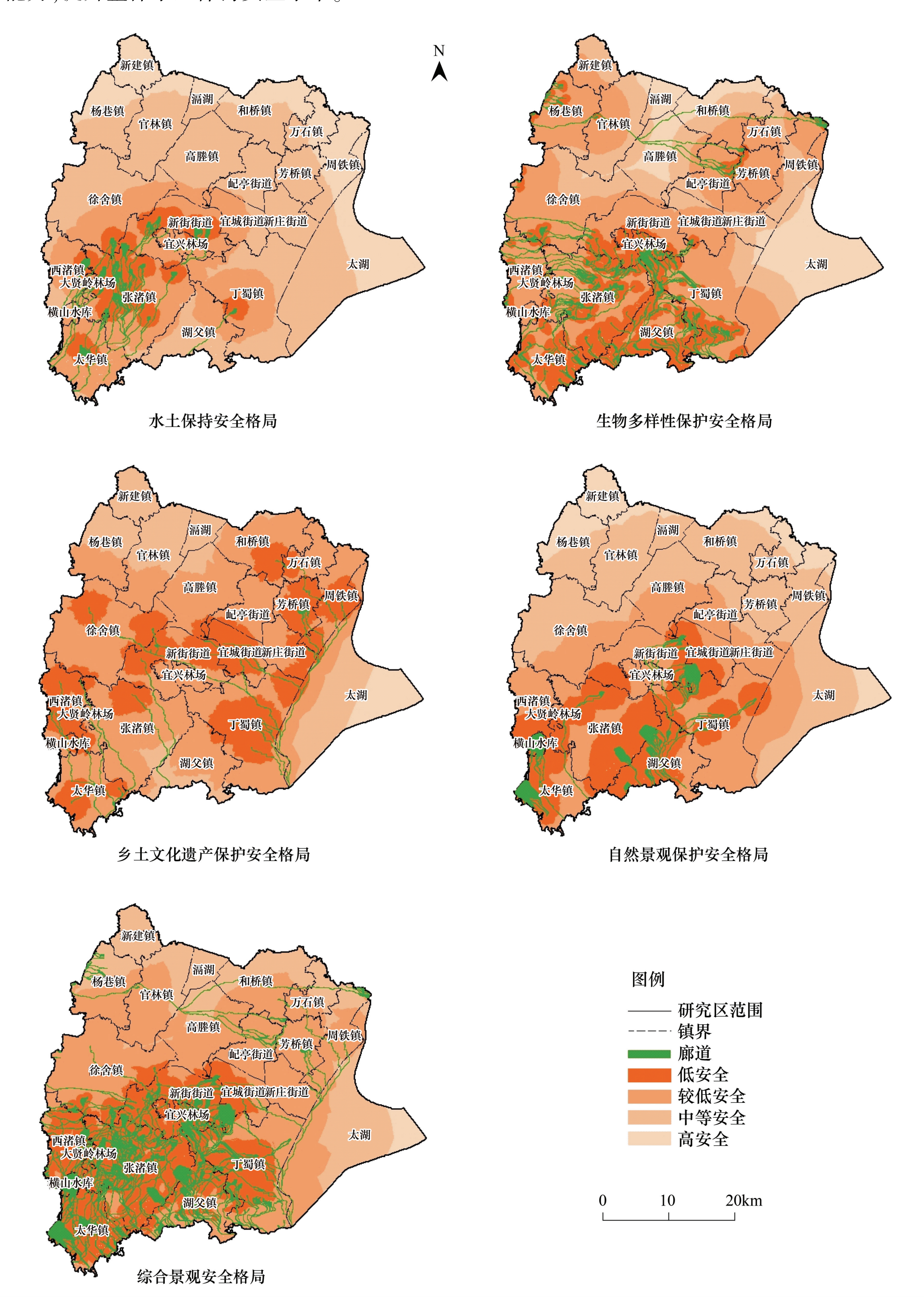


图 2　景观安全格局图

Fig.2　Landscape security patterns in research area

在生物多样性安全格局方面,由低到高 4 个等级的生物多样性保护安全水平区域面积分别占宜兴市总面积的 20.72%、45.98%、19.98%以及 13.32%(图 2,表 4)。低安全水平区域主要位于南部龙池山、铜官山、鸡笼山等区域,杨巷镇西部、官林镇西部等地也有少量分布,该区域植被覆盖率高、生态环境优越、生物多样性丰富,是生物生存与繁衍的理想场所,但是在城镇化快速发展的条件下,人类高强度的活动容易对这些区域的生态环境造成破坏,进而影响到生物的生存与繁衍。较低安全水平区域位于低安全水平区域的外层,为生物的栖息场所提供了缓冲区域,且分布着较多利于生物的迁徙与生物流的扩散的生态廊道(图 2);中度安全与高安全区域主要分布于宜兴市的中部和北部,生物多样性较稳定。通过对森林与水域的合理保护,根据生物栖息习惯,科学规划生态廊道,增加森林覆盖面积、改善人工与自然水体水质,为更多的物种提供生存繁衍空间。

在乡土文化遗产保护安全格局方面,由低到高 4 个等级的乡土文化遗产保护安全水平区域面积分别占宜兴市总面积的 26.98%、52.28%、17.89%、2.85%(图 2 和表 4)。低安全水平区域主要分布于乡土文化遗产的周围,与乡土文化遗产的保护等级及分布密度有关,该类区域交通通达性较好,人流量较大,受人类活动影响较大;较低安全水平区域面积较大,从南至北均有分布,一方面为乡土文化提供体验廊道,另一方面为乡土文化遗产保护提供缓冲空间;中等安全水平与高安全水平区域少量分布于宜兴市的南部、北部以及太湖区域,对乡土文化遗产保护的影响较小。生态用地的保护一方面需要维护乡土文化遗产保护的要求,另一方面需要避免人类游憩等行为对生态用地的破坏。同时,借助"源"间廊道,发展绿色基础设施,构建宜兴市乡土文化遗产景观保护网络,使得生态要素与名胜古迹脉络相连,共同构成一幅美丽的画卷。

在自然景观保护安全格局方面,由低到高 4 个等级的自然景观保护安全水平区域面积分别占宜兴市总面积的 23.04%、32.17%、36.15%、8.64%(图 2,表 4)。低安全水平区域主要分布于宜兴市的南部山区善卷洞风景区、竹海风景区、龙背山森林公园、横山水库等区域,这些区域的土地覆被类型大多为生态用地,具有生态环境优越、植被覆盖度高的特征,随着现代社会交通工具的发达,居民对于自然景观体验需求的提升,越来越多的人会选择这些区域作为出游的目的地,频繁的人类活动可能对原生态的自然景观构成一定的威胁;较低安全水平区域位于低安全水平区域的外沿,为城镇布局的主要场所;中等安全水平和高安全水平区域主要位于宜兴市的北部,主要为农村居民点、耕地等土地覆被类型,自然景观保护难度较小。"源"间廊道主要位于南部低安全水平区域内,依据"源"间廊道设置和优化的生态廊道,连接破碎生境、增强景观的连通性,对维持研究区可持续发展具有重要意义。

通过将水土保持等 4 种安全格局进行叠加分析,得到宜兴市综合景观安全格局(图 2,表 4)。综合景观安全格局是环境、动物与人类三者相互作用效果的累积,是土壤侵蚀、动物栖息以及人类活动等生态过程的作用效应叠加的综合体现,反映了宜兴市的不同区域在水土保持、生物多样性保护、乡土文化遗产保护以及自然景观保护方面的综合状态。

2.2 宜兴市生态用地保护措施与对策

将土地利用现状图中提取的耕地、园地、林地、水域、草地以及其他生态用地与宜兴市综合景观安全格局分析结果进行空间叠加,得到在人与自然的综合作用下宜兴市各类生态用地所处安全水平、数量构成及空间分布(图 3,表 5)。通过对宜兴市不同景观安全等级下的生态用地进行分析,根据各类型生态用地所处安全水平提出宜兴市生态用地保护措施与对策。

处于低安全水平的生态用地共计 50528.29hm^2,占研究区生态用地总量的 32.07%,其中,近 70%为林地与耕地,其次为园地和水域,主要分布于宜兴市南部丘陵山区。这部分生态用地森林覆盖率高、生物多样性丰富,不仅是动植物核心栖息场所,而且是城市景观生态功能的主要载体,为区域提供了生物多样性保护、水土保持、涵养水源、气候调节等重要的生态系统服务功能,对维持区域生态安全发挥了重要的作用。为充分保护该类型生态用地,应将该类型生态用地划为禁止建设区,土地主导用途为生态与环境保护空间,严格禁止各类与主导用途不相符合的城乡开发建设活动。同时,在已有生态要素的基础上,加强动植物物种保护,合理建设生态廊道,利于生物流的扩散。对于坡度较大、植被覆盖程度较低的区域,应采用生态修复的措施提高地表抗

侵蚀能力,主动防治水土流失等地质灾害。

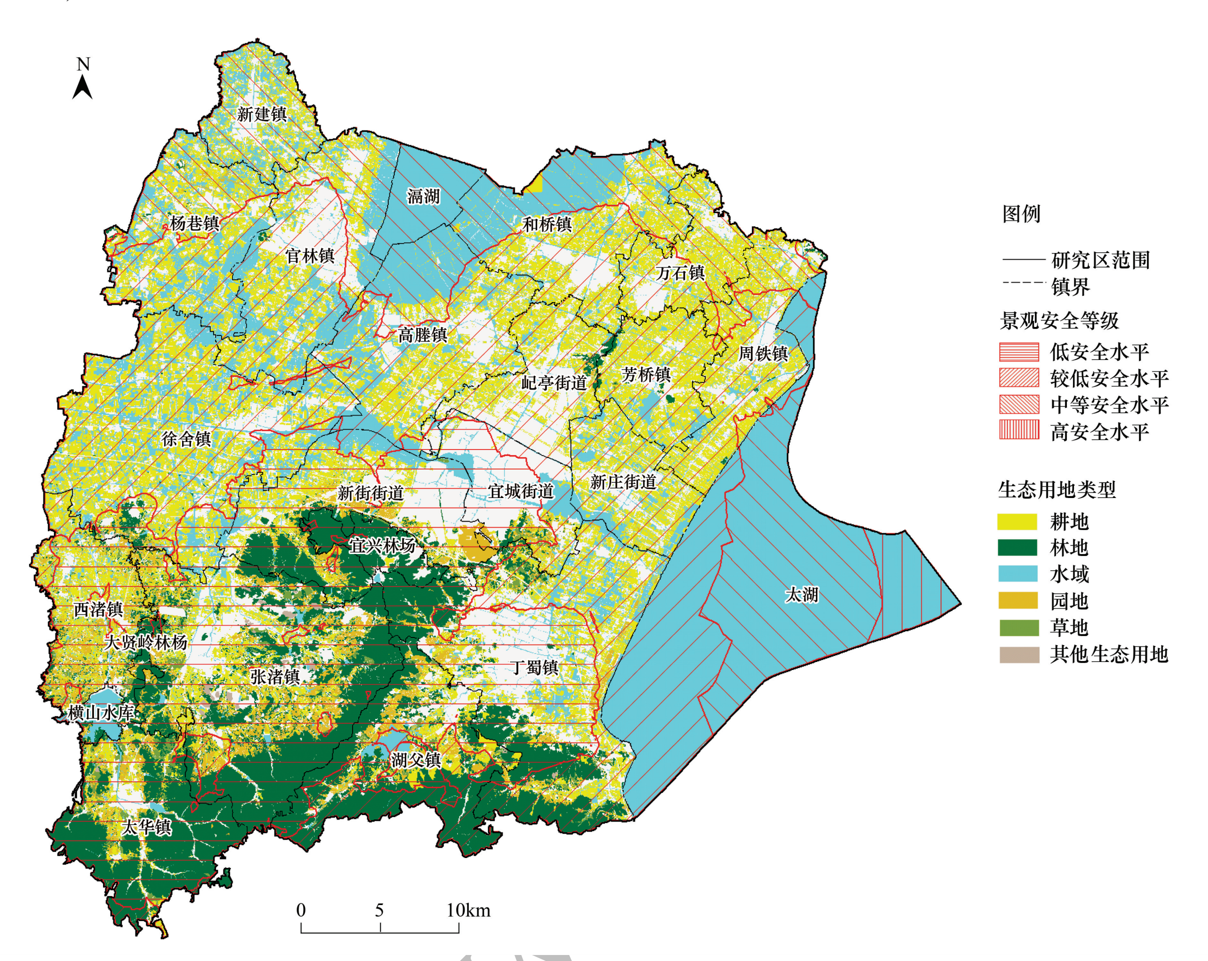


图 3　基于景观安全格局的不同类型生态用地空间分布图

Fig.3　Spatial distribution of ecological land in different types based on landscape security pattern

表 5　基于景观安全格局的生态用地分类结果

Table 5　Different types of ecological land based on landscape security pattern

生态用地类型 Kinds of ecological land	低安全 Lower		较低安全 Low		中等安全 Middle		高安全 High		合计 Total	
	面积/hm² Area	%	面积/hm² Area	%	面积/hm² Area	%	面积/hm² Area	%	面积/hm² Area	%
耕地 Cultivated Land	12106.69	23.96	32785.82	46.87	8770.86	25.22	0.00	0.00	53663.37	34.05
林地 Forest Land	23008.65	45.54	6328.29	9.05	48.48	0.14	0.00	0.00	29385.42	18.65
园地 Garden Plot	7253.99	14.36	1964.18	2.81	276.54	0.79	0.00	0.00	9494.71	6.03
草地 Grassland	1510.64	2.99	340.18	0.49	20.50	0.06	0.00	0.00	1871.32	1.19
水域 Waters	6252.90	12.37	28476.07	40.71	25658.83	73.78	2335.07	100.00	62722.87	39.80
其他生态用地 Others	395.42	0.78	47.99	0.07	2.23	0.01	0.00	0.00	445.64	0.28
合计 Total	50528.29	100.00	69942.53	100.00	34777.44	100.00	2335.07	100.00	157583.33	100.00

较低安全水平的生态用地共计 69942.53hm^2,占研究区生态用地总量的 44.38%,主要分布于宜兴市的中部和东部各镇或街道,用地类型以平原地区的耕地、养殖水面、坑塘水面、河流水面以及湖泊水面为主。该类型生态用地位于宜兴市范围内的人类活动活跃区域,农业生产是其主要用途,维护生态安全,保持稳定与安全的农业产出是对于这类生态用地保护的主要目标。因此,应严格控制耕地农药、化肥的施用量,避免过量施用造成农田生物多样性的破坏,以及农药、化肥残留随地表径流流入水体,造成水体污染;同时,按照国家方针政策,在此区域内选择连片性较高、质量较好的耕地,建设一批旱涝保收、高产稳产高标准基本农田,以生态用地

保护与耕地保护相结合的措施，实现耕地数量保护、质量保护、生态保护综合目标；此外，还应加强水体质量监测，防止未达到排放标准的城乡生活污水、工业污水进入自然水体，进而影响水体生物多样性，破坏水体生态环境。

中等安全水平的生态用地共计 34777.44hm^2，占研究区生态用地总量的 22.07%，主要分布于杨巷镇、官林镇、高塍镇、和桥镇、万石镇、周铁镇等镇的北部以及离太湖西岸一定距离的太湖区域，用地类型以湖泊水面、河流水面等自然水体和耕地等类型为主。自然水体应以保持湖泊、河流自然形态，提升水质、维护水域生态系统结构和功能为保护内容，在离湖岸、河岸一定距离的区域合理规划设置绿岛，为鸟类提供生存环境；处于中等安全水平的耕地以靠近水域水田为主，这部分生态用地保护应以防止洪涝灾害，加强水土流失治理等为主要内容。

高安全水平的生态用地共有 2335.07hm^2，占研究区生态用地总量的 1.48%，均为距离太湖西岸 9km 以外的区域，由于受人与自然的影响较小，景观安全水平较高。可以在维护生态环境的前提下，适度开发太湖中心区域的生态资源；同时，通过定期开展湖心水质监测、水域生物多样性监控，实时观测该区域的生态用地状态的变化情况，实现保护与利用并重。

3 结论与讨论

3.1 结论

（1）生态用地的保护不仅要考虑生态用地本身，还需要考虑直接或者间接影响生态用地的结构与功能的人与自然相互作用的各种生态过程。从影响生态用地保护的土壤侵蚀、动物栖息以及乡土文化体验等生态过程入手，分析地表水土流失过程、生物物种空间运动过程、乡土文化体验过程与自然景观体验过程，在单一景观安全格局的基础上构建综合景观安全格局，处于低安全水平的面积为 67361.19 hm^2，占研究区总面积的}，主要分布于南部丘陵山区。

（2）基于前人对生态用地分类与土地利用现状分类衔接研究成果，将综合景观安全格局结果与宜兴市的现状生态用地进行叠加分析，将宜兴市现状生态用地安全水平划分为低安全、较低安全、中等安全以及高安全 4 种类型，其中处于低安全水平的生态用地共计 50528.29 hm^2，占研究区生态用地总面积的 32.07%，主要为南部丘陵山区的林地、耕地及园地。针对不同等级的不同生态用地类型，提出了划定禁止建设区、防止水体污染、建设高标准基本农田、治理水土流失、规划设置湖心绿岛等差别化的生态用地保护措施与对策。

（3）基于景观安全格局对生态用地分类保护开展研究，优先保护对控制区域生态环境具有重要作用的生态用地，主动维护和满足人与自然相互作用的生态需求，研究结果可以应用于土地利用总体规划和城市规划的编制，不仅体现了生态优先的规划思想，也为城市的生态红线、城市扩展边界等的划定提供一定的参考。在此基础上进行生态用地分类保护，能够最大限度的减少建设用地扩张对环境造成的压力，达到经济社会发展与生态环境保护双赢的局面，也是保障区域生态安全，实现快速城镇化地区建设用地生态化扩展的重要途径。

3.2 讨论

随着人口城镇化和土地城镇化的不断发展，生态问题日益凸显。通过借助景观安全格局理论与方法，分析水土保持、生物多样性保护、乡土文化遗产保护以及自然景观保护 4 个与生态用地相关的重要生态过程，选取影响生态过程的阻力因子，运用最小累积阻力模型构建区域综合景观安全格局，并将综合景观安全格局与现状生态用地进行叠加，得到低安全水平、较低安全水平、中等安全水平以及高安全水平 4 种类型的生态用地，针对不同的生态用地类型分别提出了划定禁止建设区、防止水体污染、建设高标准基本农田等针对性的保护措施与对策。基于景观安全格局研究生态用地的分类与保护，优先确定对区域生态环境具有重要控制作用的生态用地，对城市发展方向的选择、建设用地的布局以及区域生态建设具有重要的指导作用，但本文仍存在以下不足之处：

（1）根据研究区的特征选取水土保持、生物多样性保护、乡土文化遗产保护以及自然景观保护 4 个与生

态用地相关的重要生态过程构建景观安全格局,未考虑其他生态过程对生态用地保护的影响,后续研究将逐渐考察其他生态过程的影响,并补充完善相应的景观安全格局。此外,各阻力要素的选择及赋值,以借鉴前人成果为主,还需要对其客观性进行深入的探讨,以便更好地指导区域生态用地保护的实践。

(2)生态用地具有自我调节、修复、维持和发展能力[10],因此,生态用地的保护与管理具有动态性、多样性以及长期性等特征。由于受数据可获取性的限制,本文仅基于 2013 年的基础数据开展生态用地分类保护,随着今后数据的丰富,将进一步研究生态用地及景观安全格局的时空动态变化,分析生态用地所处安全水平的时空变化,从而更加科学、合理地提出生态用地分类保护的对策建议。

参考文献(References):

[1] Costanza R, Daly H E. Natural capital and sustainable development. Conservation Biology, 1992, 6(1): 37-46.

[2] 俞孔坚, 乔青, 李迪华, 袁弘, 王思思. 基于景观安全格局分析的生态用地研究——以北京市东三乡为例. 应用生态学报, 2009, 20(8): 1932-1939.

[3] 肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容. 应用生态学报, 2002, 13(3): 354-358.

[4] DeFries R S, Foley J A, Asner G P. Land-use choices: balancing human needs and ecosystem function. Frontiers in Ecology and the Environment, 2004, 2(5): 249-257.

[5] 周锐, 王新军, 苏海龙, 娄翼来. 平顶山新区生态用地的识别与安全格局构建. 生态学报, 2015, 35(6): 2003-2012.

[6] 刘昕, 谷雨, 邓红兵. 江西省生态用地保护重要性评价研究. 中国环境科学, 2010, 30(5): 716-720.

[7] 邓小文, 孙贻超, 韩士杰. 城市生态用地分类及其规划的一般原则. 应用生态学报, 2005, 16(10): 2003-2006.

[8] 邓红兵, 陈春娣, 刘昕, 吴钢. 区域生态用地的概念及分类. 生态学报, 2009, 29(3): 1519-1524.

[9] 喻锋, 李晓波, 张丽君, 徐卫华, 符蓉, 王宏. 中国生态用地研究: 内涵、分类与时空格局. 生态学报, 2015, 35(14): 4931-4943.

[10] 龙花楼, 刘永强, 李婷婷, 王静, 刘爱霞. 生态用地分类初步研究. 生态环境学报, 2015, 24(1): 1-7.

[11] 周锐, 胡远满, 王新军, 苏海龙, 王燚. 快速城镇化地区生态用地演变及驱动力分析. 长江流域资源与环境, 2015, 24(6): 1012-1020.

[12] 谢花林, 李秀彬. 基于 GIS 的区域关键性生态用地空间结构识别方法探讨. 资源科学, 2011, 33(1): 112-119.

[13] 谢花林. 基于 Logistic 回归模型的区域生态用地演变影响因素分析—以京津冀地区为例. 资源科学, 2011, 33(11): 2063-2070.

[14] 李锋, 叶亚平, 宋博文, 王如松. 城市生态用地的空间结构及其生态系统服务动态演变——以常州市为例. 生态学报, 2011, 31(19): 5623-5631.

[15] 俞孔坚, 王思思, 李迪华, 李春波. 北京市生态安全格局及城市增长预景. 生态学报, 2009, 29(3): 1189-1204.

[16] 欧阳志云, 李小马, 徐卫华, 李煜珊, 郑华, 王效科. 北京市生态用地规划与管理对策. 生态学报, 2015, 35(11): 3778-3787.

[17] 张林波, 李伟涛, 王维, 熊严军. 基于 GIS 的城市最小生态用地空间分析模型研究——以深圳市为例. 自然资源学报, 2008, 23(1): 69-78.

[18] 李晖, 易娜, 姚文璟, 王思琪, 李志英, 杨树华. 基于景观安全格局的香格里拉县生态用地规划. 生态学报, 2011, 31(20): 5928-5936.

[19] 彭建, 汪安, 刘焱序, 马晶, 吴健生. 城市生态用地需求测算研究进展与展望. 地理学报, 2015, 70(2): 333-346.

[20] 吴健生, 刘洪萌, 黄秀兰, 冯喆. 深圳市生态用地景观连通性动态评价. 应用生态学报, 2012, 23(9): 2543-2549.

[21] 胡海龙, 曾永年, 张鸿辉, 马昕炜. 多智能体与蚁群算法结合选址模型: 长沙市生态用地选址. 资源科学, 2011, 33(6): 1211-1217.

[22] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局. 生态学报, 1999, 19(1): 8-15.

[23] 苏泳娴, 张虹鸥, 陈修治, 黄光庆, 叶玉瑶, 吴旗韬, 黄宁生, 匡耀求. 佛山市高明区生态安全格局和建设用地扩展预案. 生态学报, 2013, 33(5): 1524-1534.

[24] 俞孔坚, 游鸿, 许立言, 袁弘. 北京市住宅用地开发压力与城市扩张预景——基于阻力面的分析. 地理学报, 2012, 31(7): 1173-1184.

[25] 王思易, 欧名豪. 基于景观安全格局的建设用地管制分区. 生态学报, 2013, 33(14): 4425-4435.

[26] 文博, 刘友兆, 夏敏. 基于景观安全格局的农村居民点用地布局优化. 农业工程学报, 2014, 30(8): 181-191.

[27] 王娇, 程维明, 祁生林, 周成虎, 张文杰, 仝迟鸣. 基于 USLE 和 GIS 的水土流失敏感性空间分析——以河北太行山区为例. 地理研究, 2014, 33(4): 614-624.

[28] Knaapen J P, Scheffer M, Harms B. Estimating habitat isolation in landscape planning. Landscape and Urban Planning, 1992, 23(1): 1-16.

[29] Yu K J. Security patterns and surface model in landscape ecological planning. Landscape and Urban Planning, 1996, 36(1): 1-17.

[30] 李潇然, 李阳兵, 王永艳, 邵景安. 三峡库区县域景观生态安全格局识别与功能分区——以奉节县为例. 生态学杂志, 2015, 34(7): 1959-1967.

[31] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.